تخمين تابع حالت حدي خروج از خط با استفاده از روش سطح پاسخ

مانی سنگ تراشها[1] ، سعید محمدزاده[2] ، حبیب الله ملاطفی[3]

[1] دانشجوي كارشناسي ارشد مهندسي ايمني در راه آهن ، دانشگاه علم و صنعت ايران؛ manie.sangtarashha@gmail.com

[2] استاديار دانشگاه علم و صنعت ايران ، دانشكده راه آهن ؛ mohammadz@iust.ac.ir

[3] استاديار دانشگاه علم و صنعت ايران ، دانشكده راه آهن ؛ molatefi@iust.ac.ir

چكيده

در اغلب مسائل مهندسي تابع عملكرد و يا به عبارتي تابع حالت حدي سيستم به طور صريح در اختيار نبوده بلكه به صورت ضمني از طريق محاسبات پيچيده اي نظير يک برنامه دقيق اجزا محدود تعريف مي شود. اين مساله به خصوص در زماني كه نياز به داخل كردن رفتار غير خطي سيستم در داخل تابع حدي مي باشد بيشتر نمود پيدا مي كند. در اين ميان مسائل مربوط به حيطه مهندسي راه آهن نيز به دليل وجود رفتارهاي غير خطي بسيار پيچيده اي كه در تعامل چرخ و ريل وجود دارد از اين مساله مستثني نمي باشد. روش سطح پاسخ، تابع حدي سيستم را توسط يک سطح مشخص با فرم رياضي صريح و ساده اي نظير سطوح مرتبه دوم تقريب مي زند. در اين تحقيق سعي شده است تا با بكارگيري روش سطح پاسخ و نيز با كمک روشهاي قابليت اعتماد مرتبه اول، تابع حالت حدي خروج از خط چرخ بر اساس تئوري نادال به شكل بيان رياضي تقريب زده شود. بر اساس نتايج حاصله، تابع تقريب زده شده به خوبي بيان كننده رفتار ديناميكي اندركنش چرخ و ريل بوده و وضعيت پايداري چرخ و ريل را نشان مي دهد.

كلمات كليدي: روش سطح پاسخ، تابع حالت حدي خروج از خط، روش طرح اشباع، روش طرح مركب مركزي، SIMPACK

1. مقدمه

تئوري نادال يكي از ساده ترين تئوريهاي مطرح شده در زمينه پديده خروج از خط قطار مي باشد كه توسط نادال دانشمند فرانسوي در سال 1908 ارائه شده است. اين فرمول بر اساس توازن بين نيروهاي محرک و نيروهاي مقاوم در لحظه شروع پديده بالا آمدگي فلنج چرخ بر روي ريل و در حالتيكه چرخ و ريل در حالت زاويه داري مثبت هستند ابداع شده است. رابطه 1، فرمول نادال را نشان مي دهد:

(1)
$$\frac{Y}{Q} \le \frac{\tan\beta - \mu}{1 + \mu\tan\beta}$$

به Y/Q اصطلاحا ضريب خروج از خط گفته مي شود. در صورت برقراري نامساوي بالا پديده خروج از خط ناشي از بالا آمدن تدريجي فلنج چرخ بر روي ريل اتفاق نخواهد افتاد.

با در اختيار داشتن مقدار طرف راست نامساوي فوق مي توان با محاسبه مقدار Y/Q چرخ در هر لحظه از زمان، وضعيت ايمني چرخ را در مقابل خروج از خط كنترل كرد. در واقع هر زمان تابع حالت حدي رابطه 2 كوچكتر از صفر گردد شرايط ناايمن رخ خواهد داد.

(2)
$$G(x) = \frac{\tan\beta - \mu}{1 + \mu\tan\beta} - \frac{Y}{Q}$$

از طرفي يكي از معضلات پيش رو محاسبه لحظه اي Y/Q مي باشد زيرا اين ضريب كه در واقع حاصل اندركنش ميان چرخ و ريل است به عوامل بسياري چون خصوصيات مكانيكي واگن از يک طرف و شرايط هندسي و فيزيكي ريل از طرف ديگر و همچنين سرعت عبور و بسياري از عوامل ديگر بستگي دارد. اين مساله نياز به انجام تحليل هاي ديناميكي با استفاده از نرم افزارهاي تحليلي ويژه راه آهن را اجتناب ناپذير مي كند.

در اين تحقيق سعي شده است با استفاده از روش سطح پاسخ كه در ادامه مفاهيم آن توضيح داده خواهد شد و نيز انجام تحليل ديناميكي به كمک نرم افزار تحليلي SIMPACK[1] ، تابع حالت حدي(رابطه 2) به صورت يک عبارت رياضي تخمين زده شود.

2. معرفي تابع حالت حدي خروج از خط

بطور كلي تابع حالت حدي مرز بين عملكرد مطلوب و عملكرد نامطلوب يک سيستم را نشان مي دهد. بنابراين قبل از آناليز خرابي يک سيستم ابتدا بايد تابع حالت حدي مورد نظر براي آن سيستم مشخص شود. اگر R مقاومت سازه و Q پاسخ سازه در نظر گرفته شود كه هر كدام تابعي از متغيرهاي

[1] Simulation of multi-body system package

Archive of SID
www.SID.ir

تصادفي باشند آنگاه تابع حالت حدي به صورت زير تعريف مي شود:

(3)

$$g(R,Q) = R - Q$$

در صورتيكه R و Q متغيرهاي تصادفي با توزيع احتمالاتي مشخص بدست آمده بر اساس آمار و اطلاعات موجود، باشند آنگاه تابع حالت حدي نيز يک کميت تصادفي خواهد بود.

در UIC code 518 [1] و همچنين در EN14363 [2] ، رابطه (1) به اين گونه مطرح شده است که به منظور ايمني در مقابل پديده خروج از خط، نسبت Y/Q براي هر چرخ در طول مسافتي برابر 2 متر از خط، براي خطوط با شعاع $R \geq 250\,m$ نبايد از مقدار 0/8 بيشتر گردد. با اين توصيف تابع حالت حدي خروج از خط به صورت رابطه 4 قابل بيان خواهد بود:

(4)

$$G(x) = 0.8 - \frac{Y}{Q}$$

با توجه به وجود ناهمگني بين مصالح تشکيل دهنده روسازي خط در امتداد ضخامت روسازي و همچنين وجود الاستيسيته غير يکنواخت خط در طول مسير به خصوص در خطوط معمول (بالاستي) بنابراين هيچ گاه نمي توان خطي عاري از هرگونه ناهمواري داشت. ماهيت تصادفي ساختمان مصالح تشکيل دهنده خط و تاثير عوامل ديگري چون وضعيت تعمير و نگهداري، ترافيک عبوري و .... باعث مي شوند که ناهمواريهاي خط نيز ماهيت تصادفي داشته باشند. از طرفي روشن است که ناهمواريهاي هندسي خط تاثير بسيار زيادي در مقدار Y/Q مي گذارند، به اين ترتيب مي توان تابع حالت حدي رابطه 4 را بر اساس متغيرهاي تصادفي معرف نامنظميهاي هندسي خط بيان کرد. به عبارتي مي توان تابع حالت حدي رابطه 4 را به صورت يک عبارت رياضي که شامل متغيرهاي تصادفي x_i، معرف پارامترهاي هندسي خط، بيان کرد. روش سطح پاسخ اين عبارت رياضي را تخمين خواهد زد که در بخش بعدي توضيح داده شده است.

3. روش سطح پاسخ[2]

اين ايده با داشتن سابقه اي ديرينه در حل مسائل مختلف مهندسي اولين بار در مسائل قابليت اعتماد سازه ها توسط Veneziano و همکارانش در سال 1983 به منظور تقريب سطوح حالت حدي پيچيده ارائه گرديد که به نام روش سطح پاسخ معروف گرديد.

مفهوم اصلي RSM تقريب زدن يک تابع حالت حدي واقعي پيچيده و يا يک تابع حالت حدي ضمني با استفاده از يک تابع ساده و صريح مي باشد. از ديدگاه تئوري هر درجه اي از چند جمله اي ها بصورت يک بسط تيلور حول برخي نقاط فرضي مي تواند به عنوان تابع پاسخ مناسب، مورد استفاده قرار گيرد. اغلب محققان استفاده از چند جمله اي هاي مرتبه دوم را منطقي و کافي دانسته اند. به اين ترتيب تابع حالت حدي که توسط بسط سري تيلور تا مرتبه دوم بدست آمده است به شکل کلي زير خواهد بود[3] و [4]:

(5)

$$G^*(X) = a + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i^{\,2} + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} d_{ij} x_i x_j$$

ضرايب مجهول (a ، b ، c و d) با محاسبه مقدار تابع حالت حدي واقعي، $G(x)$، در تعداد معيني از نقاط که به نقاط طراحي آزمايش[3] معروفند و با مساوي قرار دادن تابع $G^*(x)$ در اين نقاط با تابع واقعي $G(x)$، بدست خواهند آمد.

استفاده از چند جمله اي هاي درجه دوم براي ساختن تابع تقريبي به دو شکل صورت مي گيرد. در شکل اول Bucher از چند جمله اي هاي درجه دومي که در آنها از جملات ترکيبي $x_i x_j$ $(i \neq j)$ صرفنظر شده است به عنوان تابع $G^*(x)$ استفاده نمود. به اين ترتيب رابطه 5 به رابطه زير تبديل خواهد شد:

(6)

$$G^*(X) = a + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i^{\,2}$$

با اين ساده سازي تعداد ضرايب مجهول بسيار کاهش يافته و به تعداد ($2n+1$ مجهول) خواهد رسيد. به اين ترتيب نياز به تعداد کمتري نقاط طراحي آزمايش و نيز تعداد نسبتا کمي برآورد تابع $G(x)$ اصلي خواهد بود. در شکل دوم Wong و Bucher و همکارانش تمام جملات ترکيبي را نيز در نظر گرفتند. به اين ترتيب تعداد ضرايب مجهول برابر با $\frac{(n+1)(n+2)}{2}$ گشته و با توجه به اينکه در اين حالت فضاي بين محورها نيز در نظر گرفته مي شوند

[2] Response surface method

[3] Experimental desing points

Archive of SID

www.SID.ir

بنابراین دقت محاسبات نیز بالاترخواهد بود.

در روش سطح پاسخ انتخاب مناسب نقطه مرکزي که نقاط طراحي آزمایش در اطراف آن واقع مي شوند از اهمیت بسیار زیادي برخوردار است. اساساً هرچه این نقطه به محتملترین نقطه خرابي[4] نزدیکتر باشد، سطح پاسخ بدست آمده شامل بیشترین ناحیه خرابي با دقت کافي خواهد بود. نقطه مرکزي به دو روش سعي و خطا و روش میانیابي خطي تکراري مشخص مي شود. که از این میان روش میانیابي خطي تکراري اغلب کاراتر مي باشد.

3 . 1 . روش میانیابي خطي تکراري به منظور تعیین نقطه مرکزي و تعیین تابع سطح پاسخ (تابع حالت حدي تقریب زده شده) :

مراحل این روش به شرح زیر مي باشد :

1- ابتدا نقطه مرکزي منطبق بر نقطه میانگین μ متغیرهاي تصادفي x انتخاب مي شود.

2- نقاط نمونه گیري (نقاط طراحي آزمایش) در اطراف نقطه مرکزي انتخاب مي گردند که نحوه انتخاب این نقاط به دو روش الف- طرح اشباع[5] ب- روش طرح مرکب مرکزي[6] صورت مي پذیرد که در ادامه این دو روش توضیح داده خواهد شد.

3- پس از تعیین نقاط نمونه گیري، مقدار تابع اصلي $G(x)=R-Q$ به ازاي هر یک از نقاط نمونه گیري با کمک روشهاي تحلیلي و یا روشهاي شبیه سازي کامپیوتري بر آورد مي شود.

4- تابع $G^*(x)$ نیز مطابق روابط 5 و یا 6 (تابع حالت حدي با جملات ترکیبي و یا بدون جملات ترکیبي) بنا به میزان حساسیت در نظر گرفته شده در انجام محاسبات به طور همزمان براساس هریک از نقاط نمونه گیري و جایگذاري این مقادیر در متغیرهاي x_i متناظر خود تشکیل مي شود.

5- با مساوي قرار دادن تابع $G^*(x)$ در این نقاط با مقدار تابع واقعي $G(x)$ بدست آمده متناظر خود، یک دستگاه معادلات خطي (در صورت استفاده از روش طرح اشباع در انتخاب نقاط نمونه گیري) تشکیل مي گرددکه با حل این دستگاه ضرایب مجهول تابع $G^*(x)$ بدست مي آیند و به این ترتیب تابع حالت حدي به صورت یک چند جمله اي درجه دوم تقریب زده مي شود.

6- با استفاده از روشهاي مرتبه اول قابلیت اعتماد[7] و براساس اطلاعات مربوط به خصوصیات آماري متغیرهاي تصادفي (میانگین، انحراف معیار و توزیع فراواني) به برآورد نقطه طراحي $X_D\left(x_1^*, x_2^*, ..., x_n^*\right)$ اقدام مي شود [5] و [6].

7- پس از تعیین X_D، با استفاده از یک میانیابي خطي بین نقطه میانگین μ و نقطه طراحي X_D نقطه مرکزي جدید، X_M، به گونه اي تعیین مي شود که $G(X)=0$ گردد. به عبارتي نقطه X_M جدید که به منظور استفاده به عنوان نقطه مرکزي تکرار بعدي مي باشد توسط روابط زیر محاسبه مي شود :

اگر $G(X_D) \geq G(X_M)$

(7)

$$X_M^{i+1} = X_M^i + \left(X_D^i - X_M^i\right)\frac{G\left(X_M^i\right)}{\left[G\left(X_M^i\right) - G\left(X_D^i\right)\right]}$$

اگر $G(X_D) < G(X_M)$

(8)

$$X_M^{i+1} = X_D^i + \left(X_M^i - X_D^i\right)\frac{G\left(X_D^i\right)}{\left[G\left(X_D^i\right) - G\left(X_M^i\right)\right]}$$

8- مراحل 2 تا 7 آنقدر تکرار مي شوند تا نقطه مرکزي همگرا گردد یعني نقطه مرکزي $X_M^{i+1} \cong X_M^i$ شود. آنگاه در مرحله آخر یعني مرحله (i+1) ام تابع حدي تقریب زده شده، $G_{i+1}^*(x)$، به عنوان تابع سطح پاسخ سیستم انتخاب مي شود که محتملترین نقطه خرابي آن همان نقطه X_D^{i+1} خواهد بود

3 . 2 . روش طرح اشباع جهت تعیین نقاط نمونه گیري :

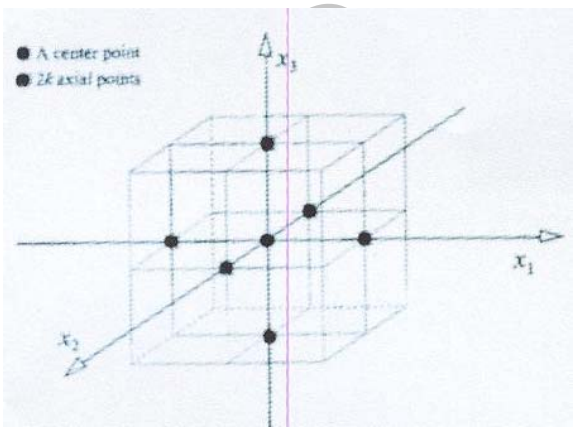
در این روش تعداد نقاط طراحي آزمایش (نقاط نمونه گیري) و تعداد ضرایب مجهولي که در تابع $G_i^*(x)$ وجود دارند دقیقا با هم مساوي مي باشند. در این روش دو حالت ممکن است رخ دهد:

حالت اول : در صورتیکه تابع حالت حدي بدون جملات ترکیبي در نظر گرفته شود نقاط نمونه گیري باید شامل نقطه مرکزي $X_M\left(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, ..., \mu_{x_n}\right)$ و همچنین دو نقطه در امتداد هر محور که مختصات آنها از عبارت $x_i = x_{mi} \pm h_i\sigma_i$ به دست مي آید، انتخاب شوند. در شکل 1 نقاط توپر نشان دهنده نقاط نمونه گیري براي

[4] Most probable failure point(MPFP)
[5] Saturated desing method(SDM)
[6] Central composite design method(CCDM)
[7] First order reliability method

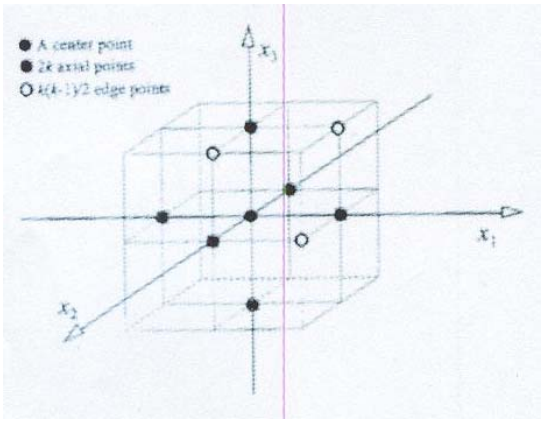
Archive of SID
www.SID.ir

یک مساله با 3 متغیر تصادفي ($k=3$) مي باشند. h_i ضريبي اختياري مي باشدکه معمولا در گامهاي نخستين تکرار برابر 2 و پس از چند سيکل با مشاهده همگرايي در نتايج برابر 1 در نظر گرفته مي شود و x_i مي σ_i انحراف معيار باشد. به اين ترتيب با اين روش تعداد کل نقاط انتخابي برابر $2n+1$ (n تعداد متغيرها) مي باشد که با تعداد ضرايب مجهول در معادله $G_i^*(x)$ برابر خواهد بود و بنابراين دستگاه معادلات بدون نياز به هرگونه تحليل رگرسيون قابل حل خواهد بود.



شکل 1 : نقاط نمونه گيري روش طرح اشباع براي مساله با 3 متغير تصادفي و تابع سطح پاسخ بدون جملات ترکيبي [3]

حالت دوم : در صورتيکه تابع حالت حدي با جملات ترکيبي در نظر گرفته شود. به اين ترتيب همانطور که قبلا نيز اشاره شد تعداد ضرايب مجهول برابر با $\frac{(n+1)(n+2)}{2}$ خواهد بود. در اين حالت نقاط نمونه گيري بايد شامل نقطه مرکزي $X_M(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, ..., \mu_{x_n})$ و همچنين دو نقطه در امتداد هر محور که مختصات آنها از عبارت $x_i = x_{mi} \pm h_i\sigma_i$ به دست مي آيد و نيز نقاط لبه اي مطابق شکل 2 به تعداد $\frac{n(n-1)}{2}$ باشد. به اين ترتيب تعداد نقاط انتخابي برابرتعداد ضرايب مجهول تابع حدي بوده و با حل دستگاه معادلات بدون هيچ گونه آناليز رگرسيون ضرايب تابع حدي محاسبه خواهند شد.



شکل2 : نقاط نمونه گيري روش طرح اشباع براي مساله با 3 متغير تصادفي ($k=3$) و تابع سطح پاسخ با جملات ترکيبي [3]

3 . 3 . روش طرح مرکب مرکزي :
اين روش شامل يک طرح آزمايش فاکتوريال کامل[8] با n_0 نقطه مرکزي مي باشد. بنابراين تعداد نقاط نمونه گيري $N = 2^n + 2n + n_0$ بوده که شامل نقاط واقع در گوشه هاي مکعب مطابق شکل 3 نيز مي باشدکه درکل از تعداد ضرايب مجهول ، $\frac{(n+1)(n+2)}{2}$ ، بسيار بيشتر بوده و لذا در برآورد سطح پاسخ نياز به استفاده از يک تحليل رگرسيون مي باشد. طبيعتا اين روش به علت استفاده از نقاط طرح آزمايش بيشتر، از دقت بالاتري برخوردار بوده و قابليت برآورد خطا و کنترل کفايت مدل را داراي مي باشد. ليکن اين روش براي مسايلي با تعداد متغير هاي کم مناسب بوده و در صورت افزايش تعداد متغيرها بسيار وقت گير شده و در گاهي موارد حتي از روشهاي شبيه سازي مستقيم نيز وقت گيرتر و ناکارآمدتر خواهد بود. در مقابل روش SDM از سرعت بيشتري نسبت به اين روش برخوردار است ولي در عين حال داراي دقت کمتري خواهد بود.

[8] Complete factorial design

Archive

www.SID.ir

	0	2		

4 . 2. فرضيات در نظر گرفته شده جهت مدلسازي و تحليل در SIMPACK :

1- واگن مورد استفاده : واگن باري چهار محوره با بوژي سه تكه

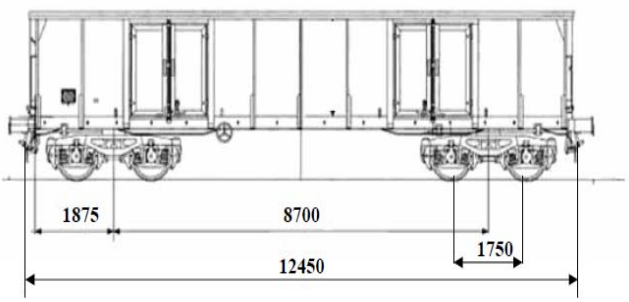
2- جهت آناليز، واگن در حالت خالي و با سرعت حركت 50 km/h در نظر گرفته شده است.

3- عرض خط برابر عرض خط استاندارد ($d = 1435mm$)

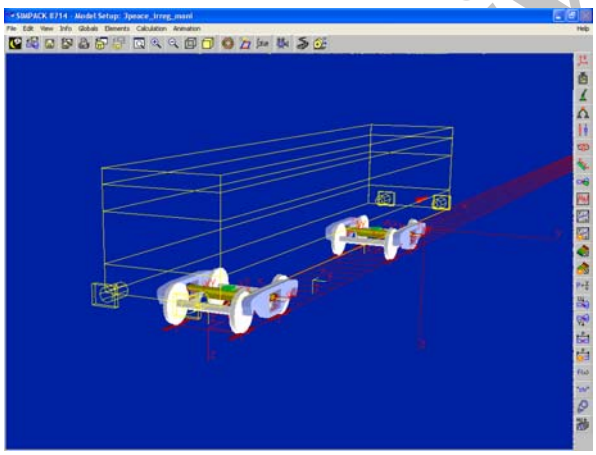
4- نوع ريل $UIC\,60$ و در شرايط ايده آل (خشك و فاقد زنگ زدگي) در نظر گرفته شده است.

5- شيب خط و ريل = 1/40

6- پروفيل چرخ از نوع $S1002$ مي باشد.



شكل 4 : ابعاد هندسي واگن باري با بوژي سه تكه مدل شده

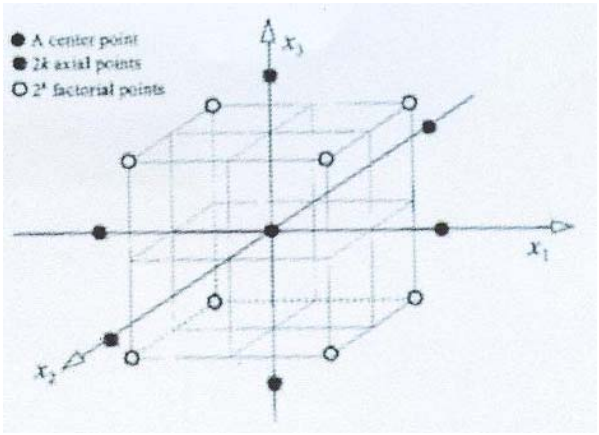


شكل 5 : نمايي از واگن باري با بوژي سه تكه مدل شده در نرم افزار SIMPACK

4 . 3 . الگوريتم انتخابي در روش سطح پاسخ :

1- تابع سطح پاسخ انتخابي، تابعي درجه 2 بدون جملات تركيبي مطابق رابطه 6 در نظر گرفته شده است.

2- جهت تعيين نقطه مركزي از روش ميانيابي خطي تكراري مطابق بخش 3 . 1. استفاده شده است.



شكل3 : نقاط نمونه گيري روش طرح مركب مركزي براي مساله با 3 متغير تصادفي ($k = 3$) [3]

4. تقريب تابع حالت حدي خروج از خط واگن شاخص

در اين بخش تابع حالت حدي خروج از خط(رابطه 4) يک واگن باري 4 محوره تشكيل و با استفاده از روش سطح پاسخ و با كمک شبيه سازي كامپيوتري به كمک نرم افزار SIMPACK تابع حالت حدي تقريبي به صورت يک چند جمله اي درجه دوم حدس زده شده است.

4 . 1 . مشخصات آماري نامنظميهاي هندسي خط مدل شده :

از ميان نامنظميهاي هندسي خط، متغيرهاي تصادفي به شرح زير انتخاب شده اند :

ديلم چپ = x_3 ، افتادگي راست = x_2 ، افتادگي چپ = x_1

دور(بربلندي) = x_5 ، ديلم راست = x_4

توزيع فراواني حاكم بر اين متغيرهاي تصادفي توزيع t location-scale انتخاب شده است.

جدول 1: مشخصات آماري نامنظميهاي هندسي خط

پارامتر هندسي	ميانگين μ	انحراف معيار σ	پارامتر شكل υ	ضريب همبستگي ρ
x_1	0/0119 –	/45711	5/2317	/75170
x_2	0/0104 –	/34651	5/2226	
x_3	0/0041 –	/82870	/346212	/97510
x_4	0/0023 –	/51030	/074114	
x_5	/01109	/1032	7/3253	–

www.SID.ir

3- جهت انتخاب نقاط نمونه گيري از روش طرح اشباع حالت اول مطابق بخش 3 . 2. استفاده شده است.

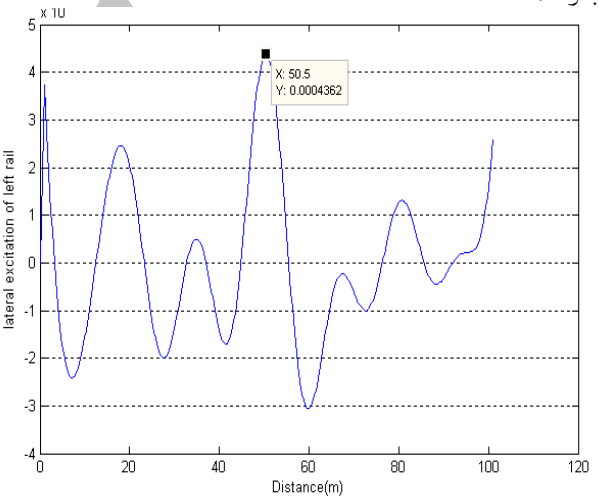
4 . 4 . نحوه مدلسازي خطوط تصادفي :

در طي مراحل الگوريتم هريک از نقاط نمونه گيري داراي پنج مولفه مي باشند (تعداد متغيرهاي تصادفي n =5). هر يک از اين نقاط معرف خطي تصادفي مي باشند که طول آن در اين تحقيق برابر 100 متر فرض شده و هرکدام از ريلهاي آن در راستاي صفحات افقي و عمودي خود دچار نامنظمي بوده که طبق فرض شکل اين نامنظميها همانند شکل تابع فوريه در نظرگرفته شده است و مقادير مولفه هاي هر نقطه نمونه گيري در واقع ماکزيمم مقدار نامنظمي ريل متناظر خود را در کل طول خط نشان مي دهد.

به عنوان مثال در صورتيکه نقطه نمونه گيري داراي مختصات زير باشد :

$$X_i = (x_1 = -3.2234(mm), x_2 = -4.0872(mm), x_3 = .4365(mm), x_4 = .5141, x_5 = .5803(mm))$$

براي نمونه الگوي ريل چپ خط توليد شده در صفحه افقي مانند شکل 6 خواهد بود.



شکل6 : الگوي نامنظمي راستاي افقي ريل چپ معرف پارامتر تصادفي $x_3 = 0.4365 \ mm$ خط

5. نتايج

مقادير تابع حالت حدي واقعي، $G(x)$، براي تمامي نقاط نمونه گيري مرحله اول اجراي الگوريتم پس از انجام تحليل ديناميکي در SIMPACK مطابق جدول 2 حاصل شده است . جدول 3 نيز مقدار ضرايب تابع حالت حدي تقريب زده شده، $G^*(x)$، را در انتهاي مرحله اول اجراي الگوريتم نشان مي دهد.

جدول2 : نتايج مقادير واقعي تابع حالت حدي مرحله اول

شماره خط	$\left(\frac{Y}{Q}\right)_{\max}$	$G_i(x) = .8 - \left(\frac{Y}{Q}\right)_{\max}$
Track1	0/00715	0/793
Track2	0/00715	0/793
Track3	0/00715	0/793
Track4	0/0629	0/737
Track5	0/0922	0/708
Track6	0/0965	0/7904
Track7	0/0955	0/7905
Track8	0/00826	0/7917
Track9	0/00836	0/7916
Track10	0/0274	0/773
Track11	0/0311	0/769

جدول3 : ضرايب تابع حالت حدي تقريبي مرحله اول

تابع حالت حدي / ضرايب	$G^*(X) = a + \sum_{i=1}^{5} b_i x_i + \sum_{i=1}^{5} c_i x_i^2$
a	0/7931
b_1	0
b_2	0/01
b_3	- 9/0784 E -5
b_4	7/4134 E -5
b_5	0/0011
c_1	0
c_2	-0/0389
c_3	-0/0037
c_4	-0/0052
c_5	-0/0050

با اجراي اين الگوريتم پس از 8 مرحله تکرار نهايتا همگرايي حاصل شده و تابع حالت حدي تقريبي نهايي به شرح جدول 4 مي باشد.

جدول4 : ضرايب تابع حالت حدي تقريبي نهايي

تابع حالت حدي / ضرايب	$G^*(X) = a + \sum_{i=1}^{5} b_i x_i + \sum_{i=1}^{5} c_i x_i^2$

Archive of SID

www.SID.ir

a	-97/8584977593492
b_1	-5/42386906949787
b_2	-5/65076643121324
b_3	0/132588622692696
b_4	17/0900123725985
b_5	3/29921577234699
c_1	-0/433791376049407
c_2	-0/317694552407120
c_3	-0/249001195773637
c_4	-2/25033139585944
c_5	-0/116651023975349

به این ترتیب تابع حالت حدي خروج از خط واگن مورد بررسي بر روي خطي با مشخصات آماري مطابق جدول 1، به روش سطح پاسخ بدست آمد. به منظور کنترل دقت این تابع فرض مي کنیم متغیرهاي تصادفي مقادیر زیر را اختیار کنند :

$$X_i = (x_1 = -6.4969(mm), x_2 = -8.4405(mm), x_3 = -.0289(mm), x_4 = 4.3585, x_5 = 14.2265(mm))$$

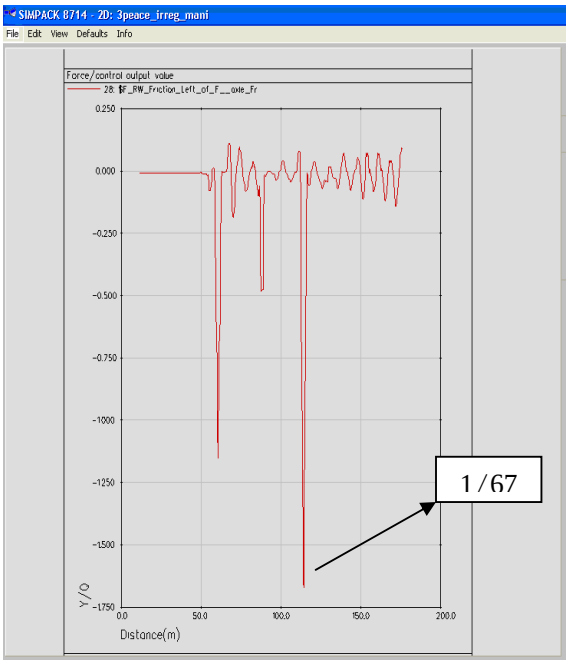
با جایگذاري این مقادیر در تابع حدي نهایي، مقدار تابع $G^*(x)$ برابر است با :

$$G^*(x) = -0/8071$$

از طرفي با مدلسازي خطي با این مشخصات در SIMPACK و انجام تحلیل دینامیکي نتایج خروجي به شرح شکل 7 بدست آمده است.
به این ترتیب مقدار تابع حالت حدي واقعي برابر است با :

$$G(x) = 0/8 - \frac{Y}{Q} = 0/8 - 1/67 = -0/87$$

مشاهده مي شود که بین مقدار تابع حدي واقعي و تابع حدي تقریبي اختلاف ناچیزي وجود دارد. علت این اختلاف استفاده از چندجمله اي درجه دوم بدون جملات ترکیبي مي باشد. در صورت استفاده از چند جمله اي درجه دوم به همراه جملات ترکیبي ، رابطه 5، این اختلاف بسیار کمتر خواهد شد.



شکل7 : نتایج نسبت Y/Q پس از انجام تحلیل دینامیکي

6. نتیجه گیري و جمع بندي

براساس مطالعه انجام شده در این تحقیق و با توجه به نتایج حاصله، مي توان نتایج زیر را مطرح کرد :

1- روش سطح پاسخ در تخمین تابع عملکرد واقعي اندرکنش دینامیکي بین چرخ و ریل بسیار قدرتمند بوده و در کل نشان دهنده کاربردي بودن آن در حل مسائل حوزه راه آهن مي باشد.

2- به جاي انجام آنالیزهاي دینامیکي بسیار وقت گیر و گران قیمت به منظور محاسبه مقدار نسبت Y/Q در طول یک خط، مي توان با استفاده از روش سطح پاسخ، وضعیت پایداري واگن بر روي خط را بررسي کرد.

فهرست علائم

Y نیروي فلنج چرخ

Archive of SID

www.SID.ir

بار لحظه اي چرخ	Q
زاويه فلنج چرخ	β
ضريب اصطكاك بين لبه فلنج و ريل	μ
تابع حالت حدي واقعي خروج از خط	$G(x)$
تابع حالت حدي تقريبي خروج از خط(تابع سطح پاسخ)	$G^*(x)$
ضرايب تابع سطح پاسخ	a,b,c,d
متغير هاي تصادفي معرف پارامترهاي هندسي خط	x_i
تعداد كل متغير هاي تصادفي	n

Archive of SID

مراجع

[1]- UIC CODE 518 , section 10-1-1-1,2nd edition,april 2003/

[2]- EN14363(European standard), section 5-3-2-2,June 2005/

[3]- Jungwon, H/, "Reliability analysis of nonlinear structural systems using response surface method," KSCE Journal of civil engineering, Vol/4 , No/3 , September 2000/

[4]- Bucher, C/, Macke, M/, Response surface for reliability Assessment, CRC press LLC,2005/

[5]- Nowak, A/, and Collins, K/, " Reliability of structures," McGraw Hill / Chapter 5/ 2000/

[6]- Choi, S/ , Grandhi, R/, and Canfield, R/, "Relibility-based structural design, " Springer, march 2006/

www.SID.ir